بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی جفت شدگی بین دو موجبر پلاسمون سطحی بار گذاری شده با دی الکتریک

فخرالدین خرد[۱]، محمود حسینی فرزاد[۲]و عباس ظریفی[۱]

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج
۲- بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

در این مقاله با شبیه سازی سه بعدی نشان داده‌ایم که انتشار پرتو در موجبرهای پلاسمون-پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (*DLSPPWs*) در مقایسه با موجبرهای کاملاً دی الکتریک (همراه با بستر دی الکتریک) عملکرد بهتری دارد. بهترین ابعاد برای چنین موجبرهایی، عرض و ضخامت *۶۰۰nm* می‌باشد که در طول موج *۱.۵۵μm* بهترین عملکرد را دارد. در ساختارهای دوتایی چنین موجبرهایی جفت‌شدگی در طول مشخصی از انتشار بین دو موجبر اتفاق می‌افتد، که بطور دوره‌ای شار انرژی بین دو موجبر ردو بدل می-شود. سرعت انتقال شار انرژی از یک موجبر به موجبر دیگر با کاهش فاصله‌ی بین آنها افزایش می‌یابد.

کلید واژه- پلاسمون سطحی، دی الکتریک، موجبرها.

Investigation of coupling between two dielectric loaded surface plasmon waveguides (DLSPWs)

Fakhroddin Kherad[1], Mahmood Hosseini Farzad[2], Abas Zarifi[1]

1- Physics Department, College Of Science, Yasooj University.
2- Physics Department, College Of Science, Shiraz University.

In this paper we simulate the beam propagation in dielectric loaded surface plasmon-polariton waveguides (DLSPPWs) which have more suitable operation comparison with the dielectric waveguides (the substrate is also dielectric). The best dimentions for these dielectric ridge is 600 nm for its width and thickness at 1.55 nm wavelength. In two waveguides structures the coupling between them is occurred at the characteristic propagation length. In this length the energy flux is completely transferred from one waveguide to other waveguide. The speed of this energy transfering is increased when the lateral distance between two waveguide is decreased.

Keywords: Surface Plasmon, Dielectrics, Waveguides.

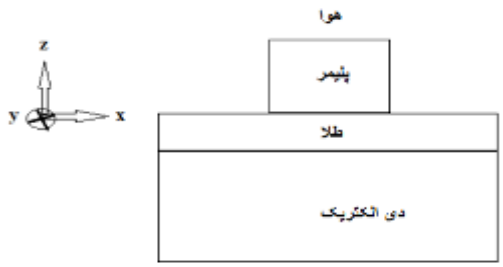
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-17]

۱- مقدمه

پلاسمون پلاریتون های سطحی[۱] (SPPs) برای محدودسازی وهدایت سیگنال های اپتیکی در مقیاس زیر ابعاد طول موج به کار می‌روند. این امواج به عنوان یک نوع حمل کننده‌ی اطلاعات اپتیکی، در درست کردن ابزارهای فوتونیکی در نظر گرفته می‌شوند[۲]. پلاسمون پلاریتون سطحی یک موج الکترومغناطیسی می‌باشد، که به طور منسجم با نوسانات الکترون‌های فلز جفت شده است و در یک مدل موجی در امتداد مرز مشترک فلز-دی الکتریک انتشار می‌یابد[۱]. مفهوم پلاسمونیک فعال برای سویچ کردن و مدوله کردن امواج SPP اپتیکی یا الکترونیکی پیشنهاد شده است[۳]. مفید بودن امواج پلاسمون پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (DLSPPWs)[۲] در مقایسه با دیگر موجبرهای SPP این هست که این موجبر دی الکتریک به آسانی می تواند خواص اپتیکی آن نسبت به گرما و اختلاف پتانسیل حساس باشد[۴]. در این مقاله، جایگزیدگی امواج انتشاری، طول جفت شدگی و انتقال انرژی بین دو موجبر با استفاده از روش المان محدود (FEM) و نرم افزار کامسول۴.۳ بررسی و شبیه سازی سه بعدی شده است. ابتدا انتشار پرتو در یک موجبر در نظر گرفته شده است، در این حالت بستر موجبر را دی الکتریک (BK7) گذاشته‌ایم وهیچ نوع SPP مشاهده نمی‌شود. سپس بستر موجبر را طلا قرار می‌دهیم، که توزیع شار انرژی در مرز طلا و دی الکتریک وجود SPP را تایید می‌کند. این کار در طول موج‌های۱.۵۵ μm ، ۱.۲۲μm و ۸۹۳nm انجام شده و نتایج نشان می‌دهد که طول موج ۱.۵۵ μm بهترین عملکرد را دارد. همچنین ضخامت و عرض ۶۰۰nm برای پل دی‌الکتریک[۳] روی فلز بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. در ادامه دو موجبر (پل) دی الکتریک (پلیمر) را بر روی طلا قرار می‌دهیم که با تحریک یک موجبر شار انرژی بین دو موجبر رد و بدل می‌شود. جفت شدگی بین این دو موجبر بستگی به ابعاد هندسی و فاصله‌ی سمتی بین آنها دارد.

۲-معرفی ساختار

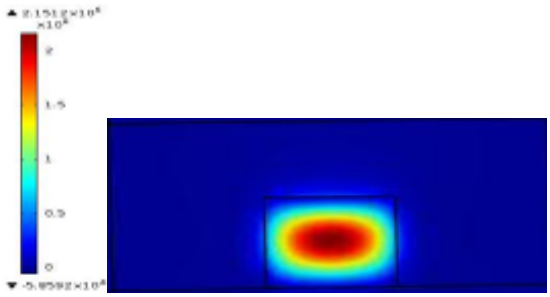
ساختار بررسی شده در این مقاله شامل یک دی الکتریک با ضریب شکستn_4=۱.۶ که در راستای X نامحدود و در راستایZ نیم نامحدود می‌باشد. سپس یک لایه‌ی طلا با ضریب شکست ۱۱.۵ +n_3=.۵۵ باضخامت ۱۰۰nm که در راستای X نامحدود می‌باشد، بر روی آن نشانده می‌شود. و برروی لایه‌ی طلا یک موجبر پلیمر با ضریب شکستn_2 =۱.۵۳۵ ولی سطح مقطع مربی که اطراف آنرا هوا احاطه کرده قرار می‌گیرد. در این ساختار راستای انتشار امواج SPP در راستای محور y اتفاق می‌افتد. در این مقاله مد پایه ی TM_0 در نظر گرفته شده است. منظور از مد TM، در این ساختار وجود مولفه‌ی X میدان مغناطیسی و مولفه‌ی y و z میدان الکتریکی مد SPP می‌باشد. وجود پلیمر باعث تقویت امواج پلاسمای سطحی و محدودسازی بهتر مد موجبر در دو بعد x و z می‌شود.



شکل۱:یک نما از سطح مقطع ساختار DLSPPW مورد بررسی

۲-۱ شبیه سازی انتشار موج در این موجبرها

در ابتدا لایه‌ی بستر موجبر را BK7 قرار داده‌ایم که در طول موج ۱.۵۵μm ضریب شکست ۱.۵۰ دارد. همانطور که از شکل (۲) مشاهده می‌شود هیچ نوع SPP در مرز بین پلیمر و BK7 مشاهده نمی‌شود و توزیع شار انرژی در وسط محیط پلیمر قرار دارد.



شکل۲: توزیع شار انرژی در راستای y برای یک موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm با زیرلایه BK7 که طول موج نور فرودی ۱.۵۵μm است.

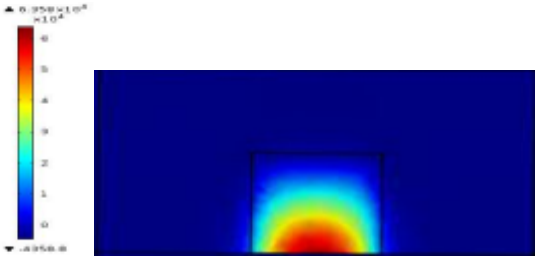
۱- Surface plasmon-polaritons

۲- Dielectric Loaded Surface plasmon-polariton Waveguides

۳- Dielectric Ridge

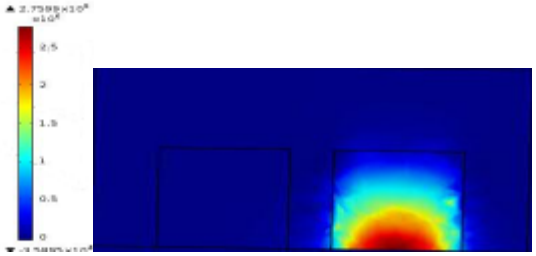
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-17]

سپس لایه‌ی زیرین را طلا قرار میدهیم که با توجه به شکل(۳) امواج spp در مرز مشترک بین طلا و پلیمر منتشر می‌شوند و نتایج نشان می‌دهد که هر چه در راستای انتشار پیش می‌رویم از شدت spp کاسته می‌شود.

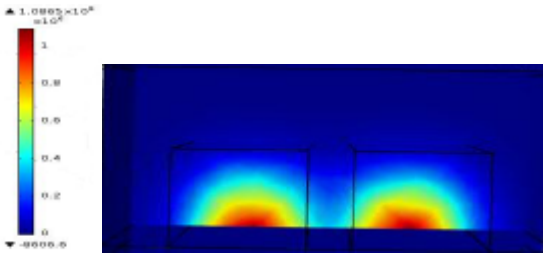


شکل۳: توزیع شار انرژی در راستای y برای یک موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm که طول موج نور تابانده شده به سطح مقطع آن ۱.۵۵μmمی‌باشد.

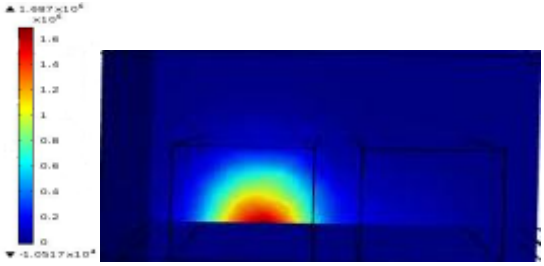
حال اگر به جای یک موجبر، دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm برروی طلا قرار دهیم و فاصله‌ی بین دو موجبر را تغییر دهیم و فقط به یکی نور بتابانیم می‌توانیم جفت شدگی این دو موجبر را مورد بررسی قرار دهیم. اگر فاصله‌ی بین دو موجبر ۲۰۰nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵μmباشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در ۱۰۰nm کامل در موجبر سمت راست می‌باشد، در ۳۲۰۰nm شار انرژی بین دو پل تقسیم می‌شود و در ۵۴۰۰nm شار انرژی کامل در سمت چپ قرار می‌گیرد، شکل‌های(۴)، (۵) و(۶) را باهم مقایسه کنید.



شکل۴: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۱۰۰nm برای دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm و فاصله‌ی بین دو موجبر۲۰۰nmو طول موج نور فرودی ۱.۵۵ μm است.

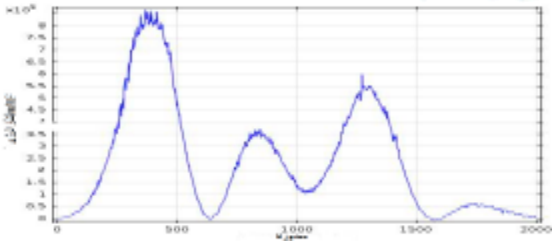


شکل۵: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۳۲۰۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل(۴). شار انرژی در این طول انتشار بین دو موجبر تقسیم شده است.



شکل۶: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۵۴۰۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل(۴). شار انرژی در این طول انتشار کاملا به موجبر سمت چپی منتقل شده است.

شکل (۷) تغییرات شار انرژی در موجبر سمت چپ یک ساختار دوتایی که در فواصل انتشاری منظمی انرژی داخل این موجبر منتقل شده و سپس به موجبر سمت راست(که در ابتدا تحریک شده بود) برمی‌گردد.

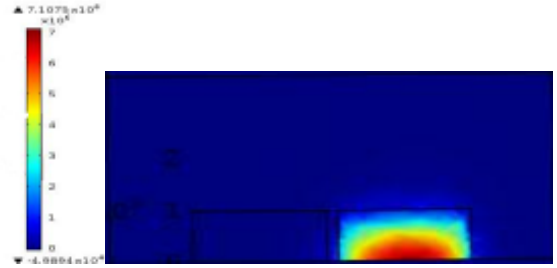


شکل۷: تغییرات شار انرژی در داخل یک موجبر DLSPPWs برحسب طول انتشار برای ساختاری که موجبر مشابهی در فاصله‌ی ۲۰۰nm از آن قرار گرفته است

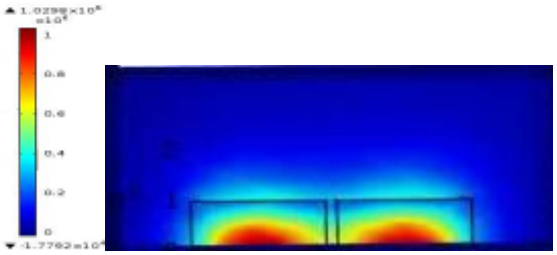
اگر فاصله‌ی بین دو موجبر ۵۰nm و طول موج نور فرودی ۱.۵۵μmباشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در ۷۰nm کامل در موجبر سمت راست می‌باشد، در ۲۰۰۰nm شار انرژی بین دو پل تقسیم می‌شود و در ۳۶۰۰nm شار انرژی کامل در موجبر سمت چپ قرار می‌گیرد. در نتیجه هر قدر فاصله‌ی بین دو موجبر کمتر سرعت انتقال شار انرژی بیشتر می‌باشد، همچنین علاوه بر طول موج۱.۵۵ μm، طول موج‌های۱.۲۲ μm و ۸۹۳nm بررسی شده‌اند، که سرعت انتقال شار انرژی برای طول موج۱.۵۵ μm بیشتر از طول موج‌های دیگر می‌باشد. اگر ضخامت پل ۳۰۰nm و عرض پل۶۰۰nm باشد، در این حالت انتقال انرژی ناقص صورت می‌گیرد. هرچه در راستای انتشار حرکت می‌کنیم این انتقال انرژی ناقص‌تر می‌باشد. شکل‌های(۸)، (۹)، (۱۰)، (۱۱) را ملاحظه

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-17]

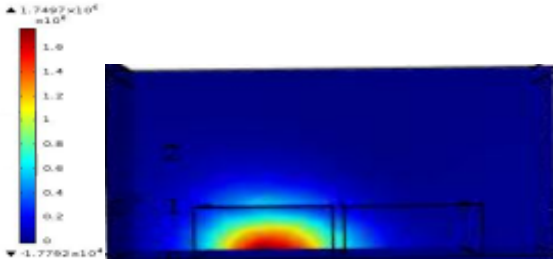
فرمایید.



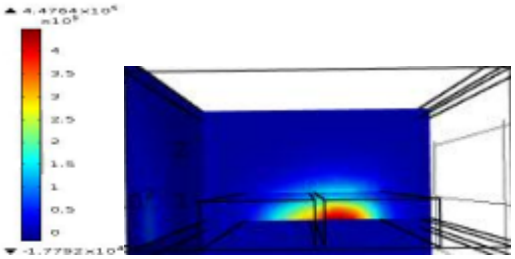
شکل۸: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۵۰nm برای دو موجبر با عرض ۶۰۰nm و ضخامت ۳۰۰nm و فاصله‌ی بین دو موجبر۵۰nmو طول موج نور فرودیμm ۱.۵۵ است.



شکل۹: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۱۶۰۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل(۸).

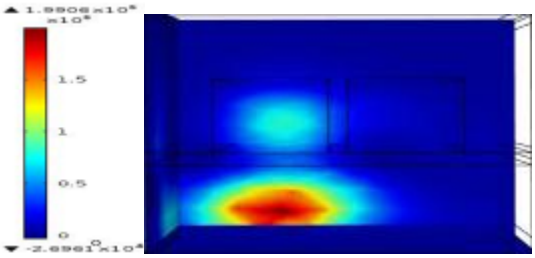


شکل۱۰: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۳۰۰۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل(۸). شار انرژی در این طول انتشار ناقص به موجبر سمت چپ منتقل شده است.



شکل۱۱: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۱۴۶۰۰nm برای دو موجبر با مشخصات شکل(۸). شار انرژی در این طول انتشار ناقص‌تر به موجبر سمت راست منتقل شده است.

در این ساختارها از بستر فلز استفاده می‌شود چون هرگاه از یک دی الکتریک استفاده کنیم، چه در حالت یک موجبر و چه در حالت دو موجبر، شار انرژی به سمت بستر موجبر هدایت می‌شود. در ساختار شبیه سازی زیر از بستر BK7 که در طول موجμm ۱.۵۵ ضریب شکست ۱.۵۰ دارد، استفاده شده است و مشاهده می‌گردد که در طول ۴۰۰۰nm انرژی به لایه‌ی زیر بستر موجبر می‌رود. که این حالت را شکل(۱۲) نشان می‌دهد.



شکل۱۲: توزیع شار انرژی در راستای y در طول ۴۰۰۰nm برای دو موجبر با عرض و ضخامت ۶۰۰nm و فاصله‌ی بین دو موجبر۱۰۰nm که طول موج نور فرودی۱.۵۵ است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از شبیه سازی‌های سه بعدی در این مقاله نشان می‌دهد که انتشار پرتو در موجبرهای پلاسمونی شامل دی‌الکتریک (DLSPPWs) بخوبی انجام می‌شود و بهتر از موجبرهای کاملا دی‌الکتریک(همراه با بستر دی‌الکتریک) است. همچنین بهترین ابعاد برای چنین موجبرهایی که پلیمر بر روی لایه‌ی طلا قرار گرفته عرض و ضخامت۶۰۰nm است که در طول موج۱.۵۵μm بهترین عملکرد را دارد. انتخاب این ابعاد به خاطر تطابق آن با عمق نفوذ پلاسمای سطحی در محیط پلیمر می‌باشد. در ساختارهای دوتایی چنین موجبرهایی جفت‌شدگی در طول مشخصی از انتشار بین دو موجبر اتفاق می‌افتد، که بطور دوره‌ای شار انرژی بین دو موجبر ردو بدل می‌شود. سرعت انتقال شار انرژی از یک موجبر به موجبر دیگر با کاهش فاصله‌ی بین آنها افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که چنین رفتاری در موجبرهای کاملاً دی‌الکتریک مشاهده نمی‌شود

مراجع

[1] H. Raether, *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings (Springer-Verlag, 1988*).

[2] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, **Nature** (London) 424, 824 (2003).

[3] T. Nikolajsen, K. Leosson, and S. Bozhevolnyi, Appl. **Phys. Lett**. 85, 5833 (2004).

[4] A. V. Krasavin, and A. V. Zayats, **Phys. Rev. B** 045425 (2008).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-17]